

## PROPRIEDADES DO VENTO NO LITORAL, AGRESTE E SERTÃO ALAGOANO

**Allan Rodrigues Silva, allansilva.r@gmail.com**

Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões – Cidade Universitária - Maceió - AL, CEP: 57072-970

**Roberto Fernando da F. Lyra, roberto.ufal@gmail.com**

Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões – Cidade Universitária - Maceió - AL, CEP: 57072-970

**Rosiberto Salustiano da Silva Junior, rosibertojr@gmail.com**

Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões – Cidade Universitária - Maceió - AL, CEP: 57072-970

**Thalyta Soares dos Santos, thalyta.soares@cptec.inpe.br**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Av dos Astronautas, 1.758, Jd. Granja - CEP: 12227-010 São José dos Campos – SP, Brasil

**Adriano Correia de Marchi, marchi999@gmail.com**

Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões – Cidade Universitária - Maceió - AL, CEP: 57072-970

**Aline Anderson de Castro, aline.castro@inpe.br**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Av dos Astronautas, 1.758, Jd. Granja - CEP: 12227-010 São José dos Campos – SP, Brasil

**Flavia D. Rabelo, flaviabike@hotmail.com**

Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões – Cidade Universitária - Maceió - AL, CEP: 57072-970

**Diogo Nunes da S. Ramos, diogonsramos@gmail.com**

Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões – Cidade Universitária - Maceió - AL, CEP: 57072-970

**Resumo.** Este trabalho teve como objetivo fazer uma análise comparativa das três regiões de estudo no Estado de Alagoas, Água Branca (Sertão), Girau do Ponciano (Agreste) e Roteiro (Litoral), obtendo assim a característica do vento e potência disponível utilizando a distribuição de probabilidade Weibull, bem como estimar a energia anual e da direção predominante produzida utilizando dados de curva de potência de um aerogerador comercial contido no referido software WASP (Versão FREE). Em destaque Girau de Ponciano com maior eficiência, seguindo de Água Branca e Roteiro.

**Abstract.** This work was aimed to do a comparative analysis of the three regions of study in the state of Alagoas, Água Branca (Sertão), Girau do Ponciano (Agreste) and Roteiro (Litoral). The wind characteristic and available power were obtained using the Weibull probabilistic distribution. Values for annual energy, the total and the fraction produced by the prevailing wind direction, were assessed using a power curve data for a commercial aero-generator, taken from the WASP software (FREE version). The greater efficiency is in Girau de Ponciano, followed by Água Branca and Roteiro.

**Palavra-chave:** Energia Eólica, WASP, EAG.

### 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o vento tem sido a fonte primária mais estudada para o ramo de energia elétrica com ritmo de expansão no mundo, e crescimento anual mundial de 27%, onde a Europa, América do Norte e Ásia detêm a maior parte. A mudança global do clima bem como, a procura de novas fontes renováveis em razão do esgotamento dos recursos energéticos mais tradicionais, incentivou a política mundial para tal exploração. No Brasil um Plano Nacional sobre Mudança do Clima pretende incentivar o desenvolvimento interno. Tem como exemplo do PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica com objetivo de diversificar a matriz e de estimular o desenvolvimento de fontes renováveis (MME, 2009a).

O estudo das propriedades dos ventos de um determinado local é um passo indispensável para avaliação da viabilidade econômica de projeto de um parque eólico. Para Custódio (2009), o desenvolvimento de um projeto de parque eólico, o ideal é a disponibilidade de medições com qualidade em torno de 5 a 10anos, porém, na realidade as medições são realizadas por 1, 2 ou 3 anos. De acordo com MME (2009 b) e Custódio (2009) o principal parâmetro levado em consideração no planejamento eólico é a estimativa da produção média anual de energia elétrica, onde a potência disponível no vento (gerado por um aerogerador) aumenta com o cubo da velocidade do vento, deste modo o conhecimento da característica do vento e sua descrição estatística é de suma importância.

Para MME (2009 b), a avaliação de um local para instalação de um gerador eólico tem como passo inicial a coleta de dados e logo mais inicia um processo de cálculo de energia anual gerado. Assim a produção de energia sofre influência das características do regime do vento e a potência do gerador flutuará para cada diferentes valores de velocidade do vento. A curva de potência de um aerogerador concatena a velocidade do vento à potência de saída do equipamento, influenciado pela velocidade do vento. As principais características apresentada pela curva de potência são informações sobre, velocidade inicial (mínima) de funcionamento do aerogerador chamada de cut-in, assim como a velocidade máxima no qual o aerogerador poderá trabalhar, chamada de cut-out. Neste trabalho essa curva de potência foi fornecida por uma biblioteca existente no WASP.

Este trabalho tem como objetivo uma análise estatística em um conjunto de dados de velocidade do vento, para três regiões no Estado de Alagoas, obtendo assim a característica do vento e potência disponível utilizando a distribuição de probabilidade Weibull, bem como estimar utilizando o modelo WASP(versão FREE – <http://www.wasp.dk/>) à energia mensal, anual e da direção predominante produzida utilizando dados de curva de potência de um aerogerador comercial contido no referido software. Como descrito por Fiorin et al. (2008), um valor superior a 6 m/s para fator de escala e da ordem de 3 para fator forma são considerados adequados para exploração econômica da energia eólica.

## 2. DADOS E METODOLOGIA

Os dados utilizados foram do projeto “Atlas Eólico e Disseminação da Tecnologia Eólica no Estado de Alagoas” (Nº ECV-156/2005), com parceria entre ELETROBRAS, LACTEC e UFAL no período de Março de 2008 a Fevereiro de 2009, fechando assim um período de um ano, caracterizando uma boa representação da normal climatológica (estação chuvosa e seca) para a região segundo a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH). Conforme descrição pormenorizada na Tabela 1.

Tabela 1 - Informações geográficas das torres de medição.

Município	Altitude das Torres (m)	Coordenada Geográfica da Torre		Altura (m)
		Latitude (S)	Longitude (W)	
Água Branca	738	9°14'59,10”	37°56'33,29”	50
Girau do Ponciano	410	9°45'58,50”	36°47'06,43”	50
Roteiro	40	9°56'29,62”	35°58'32,66”	50

As torres dispõe de equipamentos de aquisição de dados, modelo CR800-Séries (Campbell Scientific inc. –USA), alimentada por painel fotovoltaico modelo KS-20 (KYOCERA) e sensores de velocidade tipo concha de copo classe I modelo A100L2 e o direção W200P (VETOR INSTRUMENTS).

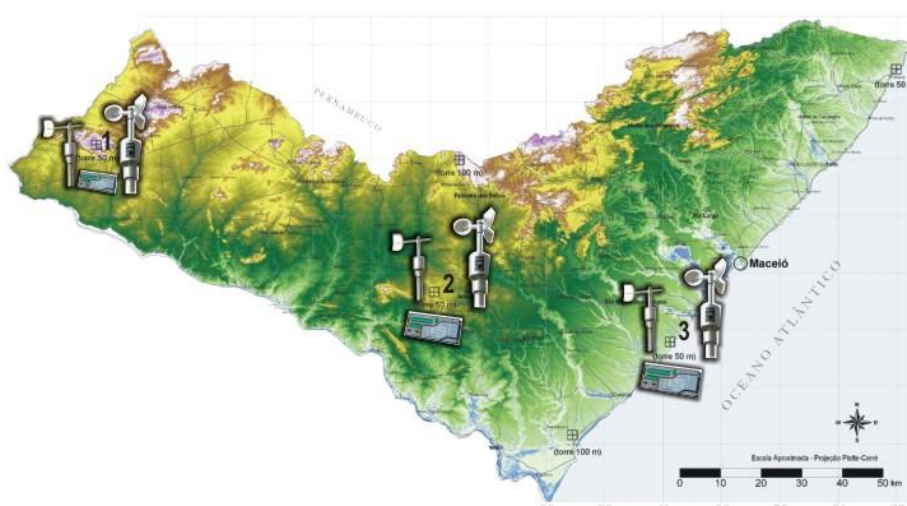


Figura 1 - Localização dos pontos medidos, Água Branca (1), Girau do Ponciano(2) e Roteiro(3).

Foram analisados para as três estações um conjunto de dados da velocidade e direção com resolução temporal de 10 minutos, no período de 12 meses (março de 2008 a fevereiro de 2010).

A distribuição probabilidade de Weibull assume uma relação entre a distribuição da velocidade do vento e a potência, sendo definida pela Equação (1) (SANSIGOLO, 2005).

$$f_v = \frac{k}{A} \frac{v}{A}^{k-1} \cdot e^{-\frac{v}{A}^k} \quad (1)$$

Onde  $f_v$  é a frequência de ocorrência de cada velocidade horizontal “v” do vento (m/s), “A” o fator de escala da distribuição (m/s), “k” o fator de forma (adimensional). Vale ressaltar que os cálculos obtidos da função Weibull, bem como os fatores de forma e escala seguido ainda da direção do vento, plotados na forma de rosa dos ventos na altura de 50m, foram calculados e desenhados com o uso do software WAsP versão free, disponível na internet <http://www.wasp.dk/> acessado em 15 julho de 2010.

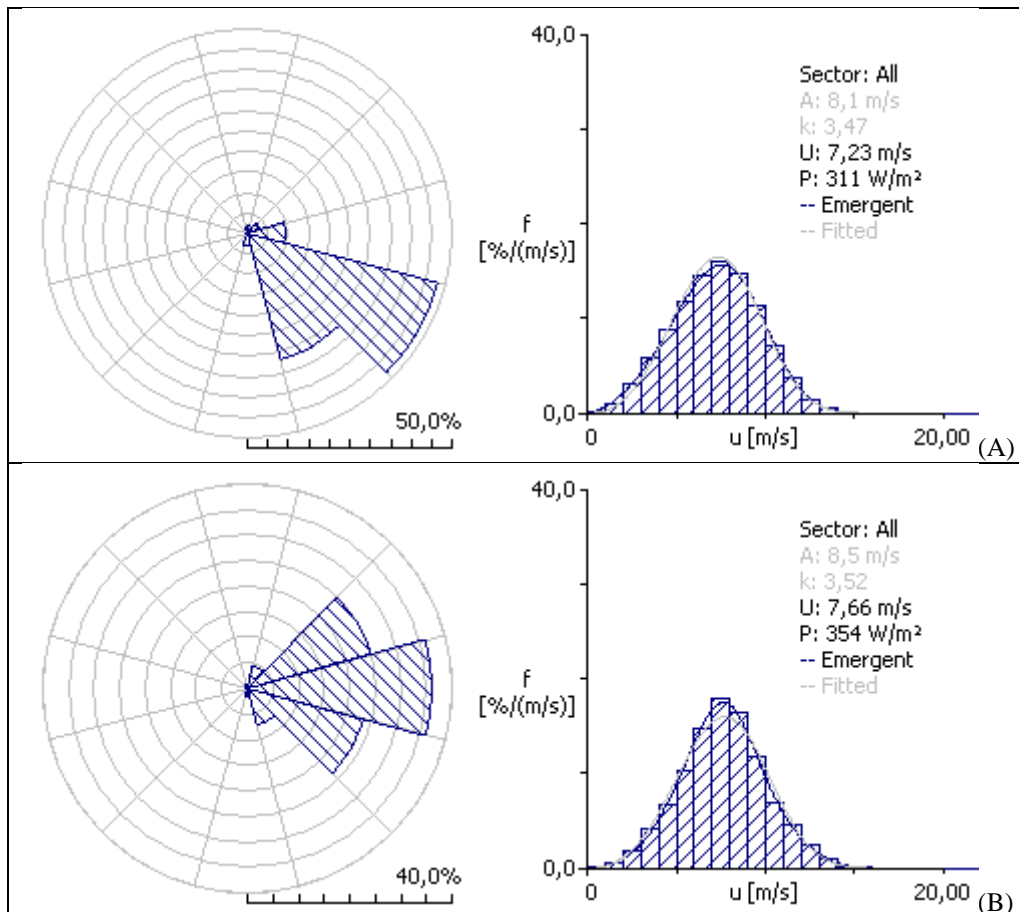
Para o cálculo de energia anual gerada – EAG, considerando que o ano contém 8760 horas, foi calculada usando a Equação (2) (CUSTODIO, 2009).

$$EAG = f_v \cdot P_v \cdot 8760 \text{ [kWh]} \quad (2)$$

onde  $v$  é velocidade do vento (m/s),  $f_v$  frequência de ocorrência da velocidade do vento  $v$  (%),  $P_v$  potência produzida pelo aerogerador na velocidade do vento  $v$  (kW).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A distribuição de velocidade dos ventos usando Weibull através do software WAsP para as regiões de Água Branca (AB), Girau do Ponciano (GP) e Roteiro (RT) são representados nas Figura 2.



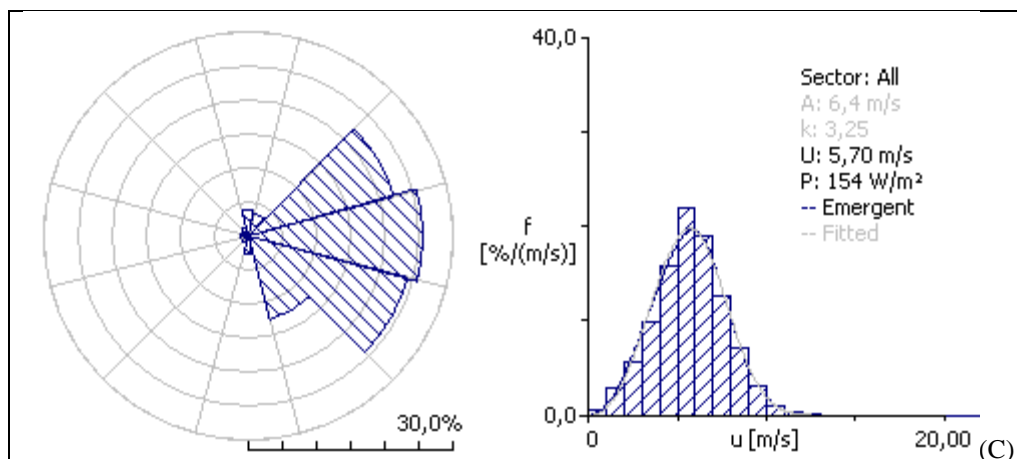


Figura 2 – Distribuição da estatística do vento a 50m, para o período de março de 2008 a fevereiro 2009 em Agua Branca (A), Girau do Ponciano(B) e Roteiro(C).

Os valores calculados pela função Weibull via software WAsP contendo, velocidade dos ventos (U) e densidade de potência (P) na altura de 50m para os três locais, bem como os valores do fator de forma k e escala A, respectivamente, são mostrados na tabela 2. Os maiores valores de U, P, k e A ocorreram em Girau do Ponciano (região central do Estado) o que torna a região mais propícia para exploração eólica, seguido por Agua Branca e Roteiro.

Tabela 2 - Parâmetros estimados para distribuição Weibull.

Local	U (m/s)	P (W/m <sup>2</sup> )	k	A
Agua Branca	7,23	311	3,47	8,1
Girau do Ponciano	7,66	354	3,52	8,5
Roteiro	5,70	154	3,25	6,4

De acordo com SILVA (2009), a região de GP é beneficiada pela ausência de brisa terra-mar, constando casos isolados de brisas vale-montanha, o mesmo autor alega que GP seja influenciado pela topografia, uma vez que a altitude vai aumentando do litoral para o interior. Segundo SILVA (2009), a estação de AB está inserida em uma região de canalização que se estende por toda fronteira Oeste entre Alagoas e Sergipe, onde se faz sentir a influência da canalização no regime do vento, conforme ilustrado na figura 3. Esta canalização também pode ser constada na distribuição de frequência da direção do vento (Figura 2A). Para os autores (COTTON, 1982; ACEVEDO, 2002; CAMELO, 2007; COSTA, 2009) utilizaram da mesma concordância, especificamente como descrito por CAMELO (2007), que estudou o vento “Aracati”, que se origina do mar, e seria canalizado pelo vale adentrando ao continente. Com os menores valores a estação de RT posicionada no litoral do Estado, apresenta conforme SILVA (2009) e SANTOS (2008) a atuação da brisa terrestre-marítima em todo litoral, influenciando assim a redução da velocidade do vento consideravelmente.

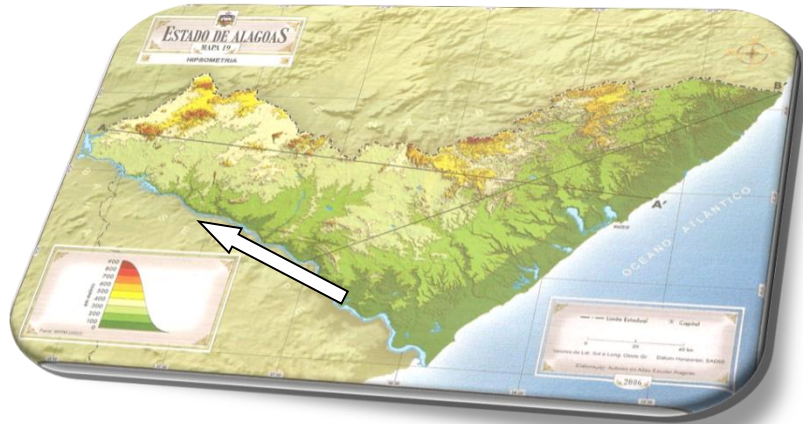
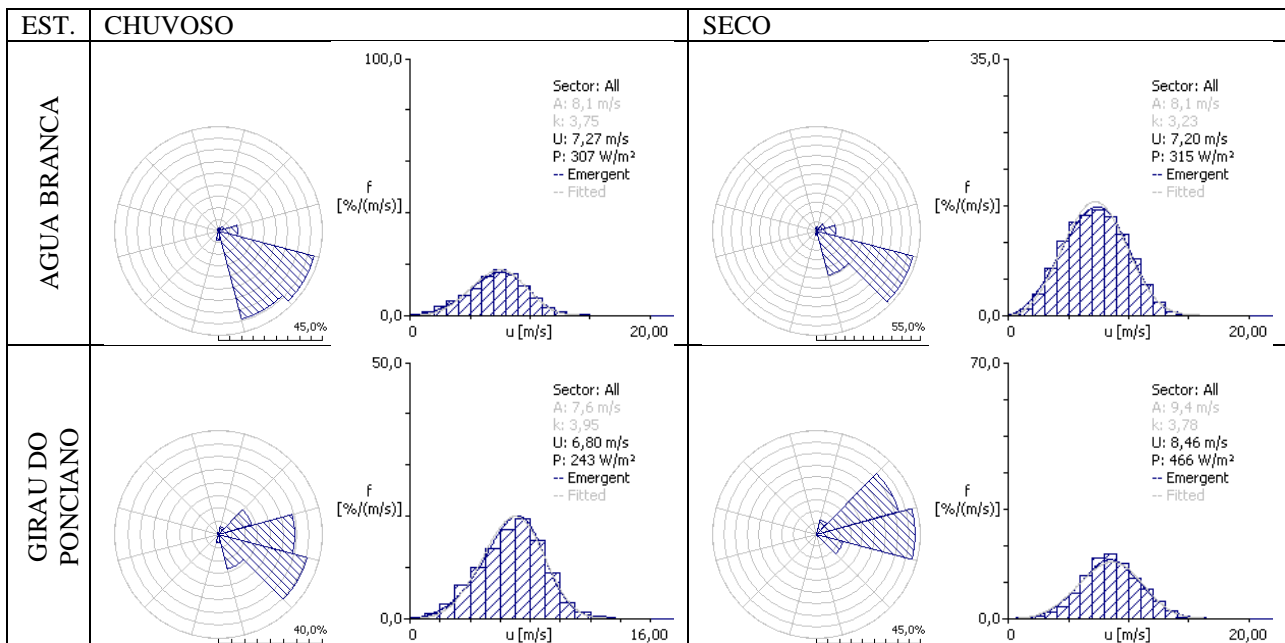


Figura 3 - Mapa hipsométrico do estado de Alagoas. Fonte: Atlas Escolar Alagoas, 2007.

Usando as normais climatológicas, obtidas através do cálculo das médias de parâmetros meteorológicos obedecendo a critérios recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), podemos dividir o ano em dois períodos (chuvoso e seco). Na Figura 4, são mostrados as distribuições de frequência do vento para os períodos seco e chuvoso, nos três locais estudados. Nota-se que de maneira geral as variáveis  $U$ ,  $k$  e  $A$  registraram os maiores valores durante o período seco. Além do mais, obteve uma menor variação da direção do vento, a exemplo de AB predominando 52,9% no setor 5 correspondente a  $120^\circ$  na rosa-dos-ventos. A estação chuvosa apresenta uma variação da direção do vento bem maior que o período seco. Isto representa um fator negativo, pois, segundo CRESESB (2010), quanto maior a variação da direção do vento maior a complexidade em instalações de mecanismo para manter o eixo perpendicular ao escoamento onde influência a força de sustentação e/ou arrasto, responsável pelo giro dos rotores utilizados para geração de energia elétrica.



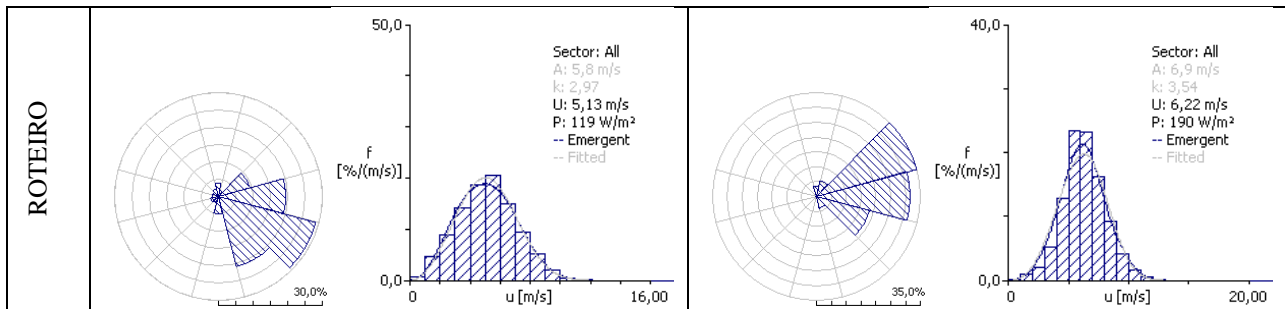


Figura 4 – Distribuição de frequência da velocidade e da direção do vento a 50m nos períodos chuvoso (março a agosto de 2008) e seco (setembro de 2008 a fevereiro 2009), em Água Branca (A), Girau do Ponciano (B) e Roteiro (C).

Para fácil análise, os valores calculados usando software WASP foram agrupados na Tabela 3. Verifica-se que, durante o período chuvoso, a densidade de potência cresce com a medida que cresce a distância do litoral. No período seco a densidade de potência é maior e o seu máximo ocorre no centro do Estado (GP) com 466 W/m<sup>2</sup>.

Tabela 3 – Comparação estatística do vento medidas no período chuvoso e seco.

ESTAÇÃO	PERÍODO	U(m/s)	P(W/m <sup>2</sup> )	k	A
AB	CHUVOSO	7,27	307	3,75	8,1
	SECO	7,20	315	3,23	8,1
GP	CHUVOSO	6,80	243	3,95	7,6
	SECO	8,46	466	3,78	9,4
RT	CHUVOSO	5,13	119	2,97	5,8
	SECO	6,22	190	3,54	6,9

Dividindo a análise dos parâmetros da função Weibull nos setores onde se verificaram a primeira e a segunda direção predominante (P1 e P2). Nota-se que é no segundo setor onde a potência e os demais parâmetros são maiores (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores estatísticos das duas maiores direções predominantes de cada sítio estudado.

LOCAL	DIREÇÃO	FREQ. (%)	U (m/s)	P (W/m <sup>2</sup> )	k	A (m/s)
AB	120° - 5 SETOR	47,0	7,58	333	3,89	8,4
	150° - 6 SETOR	31,0	7,85	376	3,72	8,7
GP	120° - 5 SETOR	35,1	7,16	258	5,20	7,8
	90° - 4 SETOR	29,5	7,24	294	3,75	8,0
RT	90° - 4 SETOR	25,4	5,62	132	4,21	6,2
	120° - 5 SETOR	23,9	5,62	138	3,70	6,2

Foi feita uma estimativa da energia anual produzida para os setores, selecionamos a turbina eólica VESTAS V82 (1650/900 kW) de 1650kW de potência nominal como modelo, velocidade de cut-in e cut-out de 3m/s e 20m/s respectivamente, altura do Hub (cubo) 70 metros e diâmetro do rotor de 82 metros. Dispondo da curva de potência do aerogerador conforme Figura 5, assim obtivemos a tabela 5 os valores de EAG. Os resultados deste cálculo são mostrados na Tabela 5.

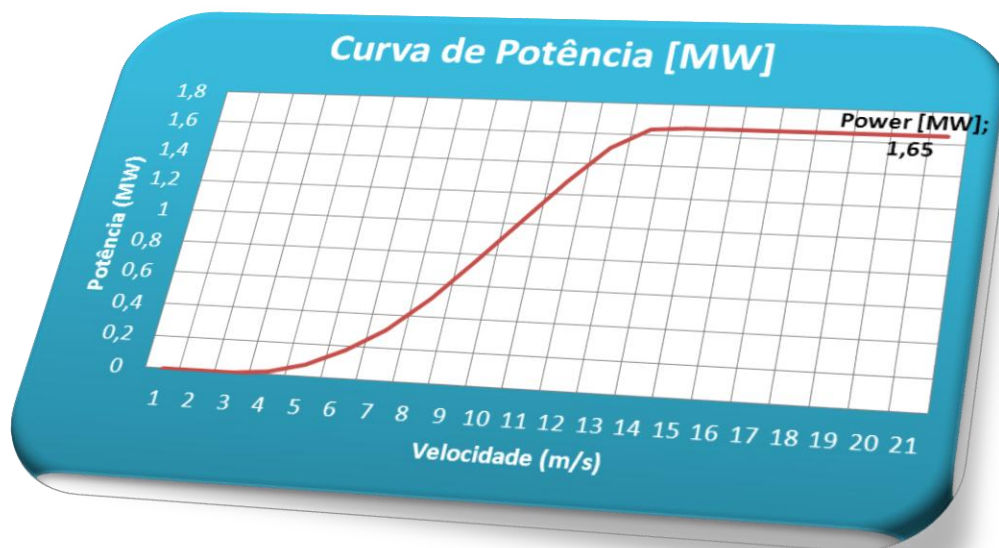


Figura 5 – Curva de potência de um aerogerador de potência nominal de 1650kW.

Com 47% de direção predominante Água Branca tem um ganho nesse setor P1 de 51,85% com relação a P2. Roteiro obteve um valor próximo entre as direção predominantes com 21,31% e 21,22% entre a primeira e a segunda maior direção dominante respectivamente. Entretanto Girau do Ponciano com 35,1% de direção predominante alcançou 1058,66 MWh de energia gerada representado 19,26% contra 42,32% do segundo setor de maior dominância do vento acumulando 2326,08 MWh de energia.

Com exceção de Girau do Ponciano a maior quantidade de energia produzida verificou-se no setor de maior predominância (P1). O fato é que neste local o setor P1 teve 35,1% de ocorrência e 29,5%. Em Roteiro a diferença entre a energia produzida em P1 e P2 foi muito pequena uma vez que a frequência nos dois setores foi 25,4 e 23,9% respectivamente.

Tabela 5 – Valores estimados de Energia anual gerada para cada local no período de março de 2008 a fevereiro de 2009 e para os dois setores de maior predominância.

LOCAL	Energia Anual Gerada (MWh)		
	EAG	1º Direção Predominante	2º Direção Predominante
Água Branca	4927,92 (100%)	2554,91 (51,85%)	1867,02 (35,1%)
Girau do Ponciano	5496,00	1058,66	2326,08
Roteiro	2458,93	524,10	521,69

#### 4. CONCLUSÃO

Foram analisados dados observacionais de vento a 50m em três locais no Estado de Alagoas. Cada um destes locais encontra em uma região geográfica diferente: Litoral (Roteiro), Agreste (Girau do Ponciano) e Sertão (Água Branca). Os resultados obtidos mostraram que em Girau do Ponciano há maior eficiência, seguindo de Água Branca e Roteiro.

Dividindo os resultados em períodos chuvoso e seco constatou-se que os parâmetros da função Weibull obtiveram melhores no período seco, bem como uma menor variabilidade de direção do vento.

Na comparação entre a energia produzida no primeiro e segundo setor em termos de predominância verificou-se que em Girau do Ponciano a produção é maior no setor P2 e que em Roteiro a diferença entre a energia produzida nos setores P1 e P2 é muito pequena.

#### 5. AGRADECIMENTOS

O autor agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão de bolsa de estudo mestrado em meteorologia.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Acevedo, O.C; Moraes, O.L.L; Silva, R. Turbulence observations at the edge of a cliff. Symposium on Boundary Layers and turbulence, Wageningen, 2002.
- Camelo, H.N. Estudo numérico do vento Aracati para caracterização de seu Potencial eólico. Dissertação (Mestrado acadêmico em ciências Físicas aplicadas), UECE, 2007.
- Centro de Referência para a Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito: CRESESB. Disponível em: <[www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br)>. Acesso em: 22 abr. 2000.
- Costa, Gabriel Brito. Análise Espacial e Temporal do Vento no Estado de Alagoas. Maceió – AL: ICAT/UFAL, 2009. Dissertação (Mestrado em Meteorologia).
- Cotton, W.R; George, R.L; Knupp, K.R. An intense quasi-steady thunderstorm over mountainous terrain. Journal of the Atmospheric Sciences, VOL. 39, 328-342, 1982.
- Custódio, Ronaldo dos Santos, Energia Eólica Para Produção de Energia Elétrica. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 280p, 2009.
- Fiorin, D.V.; Schuch, N.J.; Martins, F.R.; Brackmann, R. Comportamento Estatístico Sazonal dos Ventos na Região do Observatório Espacial do Sul. São José dos Campos: INPE, 2008. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA 15., 24-29 agosto, São Paulo, Brasil, 2008.
- MME, Ministério de Minas e Energia, Metodologia de Contabilização da Produção Eólica EPE-DEE-RE014/2009-r0 Rio de Janeiro, Maio de 2009a.
- MME, Ministério de Minas e Energia, Nota Técnica PRE 01/2009-r0, Rio de Janeiro, Brasil, Fev. 2009b.
- Sansigolo, Clóvis Angeli. Distribuições de Probabilidade de velocidade e potência do vento. Revista Brasileira de Meteorologia, v20, n2, 207-214, 2005.
- Santos, Thalyta Soares dos. Distribuição da Precipitação e Suas Interações com os Sistemas de Brisas em um Ecossistema de Manguezal em Alagoas. Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia. Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brasil. 60f. – Dezembro de 2008.
- Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH. Normal Climatológica. Disponível em: <<http://www.semarh.al.gov.br/tempo%20e%20clima/dados-meteorologicos/pluviometria/normal-climatologica>>. Acesso: 12.08.2010.
- SILVA, Allan Rodrigues. Estudo Observacional do Regime do Vento no Estado de Alagoas, nos Períodos Seco e de Transição Seco-Chuvoso. Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia. Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brasil 64p. Fevereiro de 2009.

## 7. TERMO DE CESSÃO DE DIREITOS AUTORAIS

O(s) autor(es) cede(m) seus direitos autorais referentes aos trabalhos submetidos e aprovados à UFMG, para publicação nos anais do 1º Seminário Nacional Sobre Engenharia do Vento.